Для достижения поставленной цели требуется решение следующих задач:

1. провести анализ факторов, влияющих на экономическую эффективность функционирования системы типа «процесс» и качество выпускаемой продукции;

2. разработать комплексный критерий эффективности функционирования системы типа «процесс», обобщающий экономический критерий затрат при управлении системой, критерий качества продукции;

3. разработать методику нечеткого ситуационного управления системой типа «процесс», позволяющую формировать управляющие решения на основе идентификации ПТС;

4. разработать алгоритмическое обеспечение системы управления системой типа «процесс»;

5. провести исследование функционирования системы типа «процесс» при использовании разработанной системы управления.

Список использованных источников

1. Артиков А. К вопросу развития системного анализа на примере технологических объектов. – Режим доступа: //www. http://victor-safronov. ru/systems-analysis/papers/to-question-of-systems-analysis-development.html.

2. Макшанов А.В., Мусаев А.А. Подход к построению математических моделей технологических установок // Труды СПИИРАН. 2005. Т. 2. № 2. С. 453–461.

3. Ершов А.А. Модель и методы интеллектуализации разработки АСУ для сложных производственно-технических систем: дис. … канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2013.

4. Прикладной системный анализ / под ред. Тарасенко Ф.П. – М.: КНОРУС, 2010. – 224 с.

5. Shcherbatov I.A. Classification of pure formalized complex multicomponent technical systems under conditions of uncertainty // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. - 2012. - № 2. - С. 9-12.

6. Жедунов Р.Р. Идентификация предаварийных ситуаций на промышленных объектах управления (на примере процесса каталитического риформинга): дис. … канд. техн. наук. – Астрахань, 2008.

7. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 272 с.

УДК 681.51.013

Т. А. Емельянова, В. И. Гончаров

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск, Россия

СИНТЕЗ МНОГОКОНТУРНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ

Аннотация

В статье рассмотрена задача синтеза многоконтурных систем автоматического управления (САУ) на основе формирования и решения общего уравнения синтеза. Выделена главная особенность и препятствие в решении задачи – ее некорректность. Получены положительные результаты привлечения регуляризации Тихонова при синтезе систем этого класса.

Ключевые слова: Многоконтурная система управления, регулятор, вещественный интерполяционный метод, регуляризация Тихонова.

Abstract

The article dealt with multi-loop automatic control systems. The method of synthesis, which is based on direct way of solving the general equation of synthesis, was proposed. The main features of the synthesis of the direct method of multi-loop systems was discussed, the main of which was incorrectness of the problem. The method of solving of incorrectly posed problems with using the Tikhonov regularization was presented

Key words: Multi loop control system, regulator, real interpolation method, the Tikhonov regularization, non-linear system of equations.

Введение

В теории и практике автоматического управления техническими объектами основные вопросы связаны с коррекцией динамических свойств САУ, придающей системе заданные показатели точности, качества, устойчивости. В случае одноконтурных стационарных линейных САУ задача практически решена в полной мере [1]. Для многоконтурных САУ возникают существенные трудности принципиального характера. Поэтому используется многоэтапная последовательная схема синтеза, базирующийся на последовательном расчете контуров САУ, начиная с внутреннего [2–4]. Недостатки такого варианта очевидны. Главный из них состоит в том, что на первом этапе решения требуется распределить желаемые показатели качества и точности САУ на каждый контур синтезируемой системы. Такое распределение можно сделать только приближенно. По этой причине расчет САУ будет содержит два источника погрешностей. Первый связан с распределением желаемых свойств по контурам, второй - с поиском приближенного решения при синтезе каждого контура.

Для уменьшения влияния этих погрешностей и повышения точности расчетов целесообразно перейти к одноэтапной процедуре синтеза САУ. Она состоит в формировании уравнения синтеза, которое содержит неизвестные коэффициенты всех регуляторов, и его решения [5]. На этом пути имеются специфические трудности, определенные сложностью такого уравнения и некорректностью задачи [6]. В настоящей работе рассматривается возможность уменьшения влиянии последнего фактора на получаемые результаты.

Известный путь состоит в регуляризации задачи [7]. Ниже рассматриваются возможности этого подхода на основе метода А.Н.Тихонова [8].

1 Постановка задачи.

Для определенности и конкретизации задачи будем рассматривать двухконтурную САУ, которая в полной мере сохраняет свойства многоконтурных систем, но является более простой по сравнению с общим случаем. Схема такой системы представлена на рисунке 1. Она содержит два регулятора и является достаточно распространенной для объектов и процессов повышенной точности. Ее расчет состоит в определении структуры и параметров двух регуляторов Wp1(p), Wp2(p), включая коэффициенты обратных связей K1, K2.

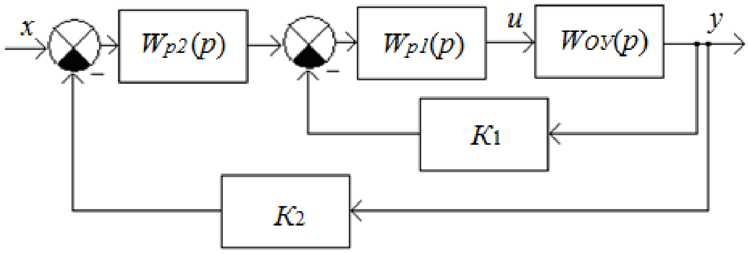

Рис. 1. Операторно-структурная схема двухконтурной САУ

Уравнение синтеза такой системы имеет вид:

$$W_{зам}^{жел}(p) \cong \frac{W_{p1}(p)\cdot\dfrac{W_{p2}(p)\cdot W_{OY}(p)}{1+W_{p2}(p)\cdot W_{OY}(p)}K_2}{1+W_{p1}(p)\cdot\dfrac{W_{p2}(p)\cdot W_{OY}(p)}{1+W_{p2}(p)\cdot W_{OY}(p)}K_2K_1}, \quad (1)$$

где $W_{OУ}(p)$ – передаточная функция объекта управления; $W_{зам}^{жел}(p)$ – известная передаточная функция желаемой (эталонной) системы.

Из соотношения (1) видно, что это уравнение является нелинейным относительно неизвестных параметров регуляторов, и это обстоятельство представляет главную особенность уравнений синтеза многоконтурных систем.

Для определения коэффициентов регуляторов необходимо развернуть уравнение (1) в определенную систему уравнений. С этой целью воспользуемся вещественным интерполяционным методом (ВИМ) [9]. Он позволяет перейти от изображений по Лапласу $F(p), p=\delta+j\omega$ к частному случаю при ω=0 – вещественным изображениям F(δ) $F(\delta), \delta\in[\mathrm{C},\infty], \mathrm{C}\geq 0$.

Привлечение этого метода к рассматриваемой задаче позволяет получать вещественную передаточную функцию W(δ), а на основе дискретизации по узлам δi, i=1 ÷ η получать численные модели {W(δi)}η. В конечном итоге становится возможным перейти от уравнения (1) к его вещественной форме, затем к численной, в которой фигурируют значения $W(\delta_i), i=1,2,..$ функций $W(\delta)$. В результате задача синтеза сводится к решению системы η линейных уравнений

$$W_{зам}^{жел}(\delta_i)\cong\frac{W_{p1}(\delta_i)\cdot\dfrac{W_{p2}(\delta_i)\cdot W_{OУ}(\delta_i)}{1+W_{p2}(\delta_i)\cdot W_{OУ}(\delta_i)}K_2}{1+W_{p1}(\delta_i)\cdot\dfrac{W_{p2}(\delta_i)\cdot W_{OУ}(\delta_i)}{1+W_{p2}(\delta_i)\cdot W_{OУ}(\delta_i)}K_2K_1},\qquad i=\overline{1,\eta}. \tag{2}$$

Для определенности системы (2) необходимо, чтобы число уравнений η было равно числу неизвестных коэффициентов, а все узлы $\delta_i, i=1,2,...$различны.

Расчеты показали, что такой подход справедлив, но его вычислительная реализация встречает принципиальные препятствия вследствие некорректности задачи. Оказалось, что даже при малом числе неизвестных решение найти проблематично. Рассмотрим эти затруднения поле подробно, привлекая количественные меры некорректности – числа обусловленности соответствующих матриц.

2. Решение уравнения синтеза и его регуляризация

Для дальнейшего рассмотрения задачи введем дополнительные упрощения, которые, тем не менее, сохраняют интересующие нас особенности уравнения синтеза. Примем регуляторы в виде

$$W_{p2}(\delta)=\frac{b_{p1_1}\delta+b_{p1_0}}{a_{p1_1}\delta+1},\qquad W_{p2}(\delta)=\frac{b_{p2_1}\delta+b_{p2_0}}{a_{p2_1}\delta+1}.$$

Тогда уравнение (2) можно записать в развернутой форме

$$\begin{aligned}&W_{зам}^{жел}(\delta)\cong[b_{p2_1}b_{p1_1}\delta^2+(b_{p2_1}b_{p1_0}+b_{p2_0}b_{p1_1})\delta+b_{p2_0}b_{p1_0})\cdot\cdot W_{OУ}(\delta)]/\\&\Big[\Big\{(a_{p2_1}a_{p1_1}+a_{p2_1}b_{p1_1})\delta^2+(a_{p2_1}b_{p1_0}+a_{p2_1}+a_{p1_1}+b_{p1_1})\delta+(b_{p1_0}+1)\Big\}\cdot\\&\cdot W_{OУ}(\delta)\cdot K_1+(b_{p2_1}b_{p1_1}\delta^2+(b_{p2_1}b_{рег1_0}+b_{p2_0}b_{p1_1})\delta+b_{p2_0}b_{p1_0})\cdot W_{OУ}(\delta)\cdot K_2\Big]\end{aligned} \tag{3}$$

Видно, что это уравнение относится к классу нелинейных, а поиск его решения может иметь значительные трудности. В частности, уравнение (3) содержит 6 неизвестных параметров, что для большинства типов нелинейных уравнений является непреодолимым препятствием. Предполагаем, что рассматриваемая задача на основе системы (3) некорректна. Проверку предположения выполним на конкретном примере, взятом из [10]. Соответствующая схема представлена на рисунке 2. Выбор примера обусловлен тем, что, что имеется точное решение, которое можно использовать при сравнении различных вариантов.

Меру обусловленности будем определять выражением k=||A||·||A-1||, где ||A|| – вторая норма матрицы A, $\|A\| = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} |x_i^2|}$ [11].

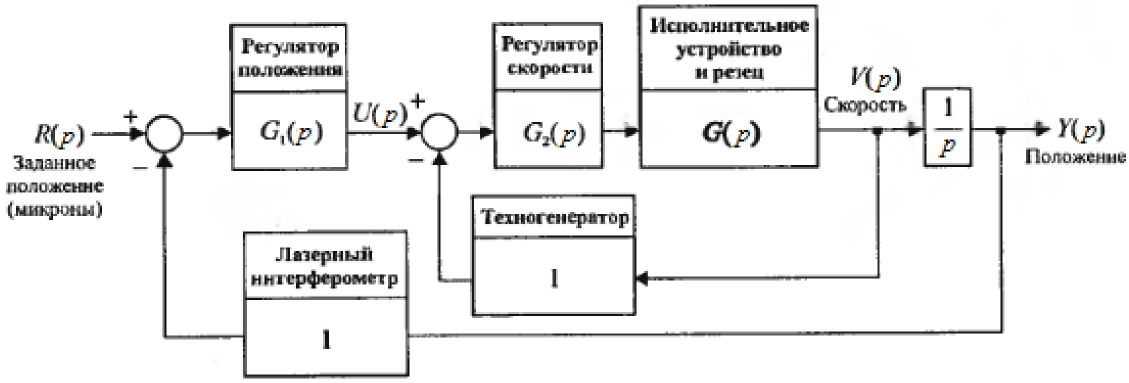

Рис. 2. Двухконтурная система управления токарным станком

Результаты расчетов по методу Ньютона в виде зависимости меры обусловленности от количества неизвестных в системе представлены на рисунке 2.

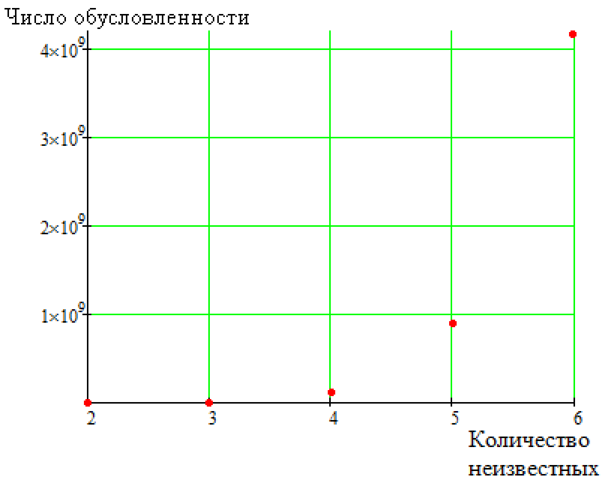

Рис. 3. Зависимости меры обусловленности от количества неизвестных

Результаты, представленные на рисунке 2, показывают ограниченность метода по числу неизвестных коэффициентов и одновременно определяют его область применения. Для расширения области определения в работе используем метод регуляризации А.Н.Тихонова. Результаты представлены на рисунке 4.

Сравнивая рисунки 3 и 4 можно сделать вывод, что применение регуляризации позволяют повысить обусловленность задачи, а соответственно, и повысить число определяемых коэффициентов. Есть еще одна возможность для улучшения результатов – замена метода Ньютона более подходящим инструментом.

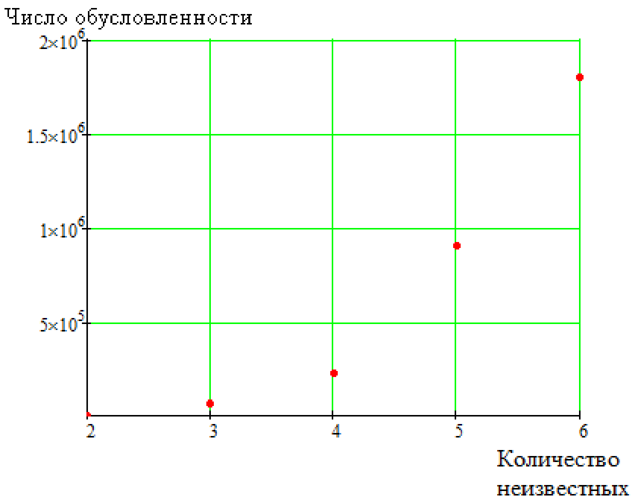

Рис. 4. Зависимости меры обусловленности от количества неизвестных
при использовании регуляризации А.Н. Тихонова

Заключение

Представлен способ синтеза многоконтурных САУ. Он проверен на примере двухконтурной системы. Применение регуляризации при решении задачи вещественным интерполяционным методом позволило расширить область сходимости представленного алгоритма.

Список использованных источников

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т.3: Методы современной теории автоматического управления. / Под ред. Н.Д. Егупова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000. – 748 с.

2. I. Murray, Richard M. Feedback control systems. Version 2. 2008;

3. Vilius Antanas Geleževičius. Dynamical quality improvement of mechatronic servo syssstttem using variable structure velocity controller. INFORMATION TECHNOLOGY AND CONTROL, 2009, Vol.38, No.1.

4. Vrancic D., Strmenic S., Hanus R. Improving disturbance rejection of PI controllers by means of the magnitude optimum method // ISA Transactions. – 2004. – V. 43. – № 1. – P. 73–74

5. The synthesis of multi-loop control systems. / Goncharov, V. I.; Shchelkanova, T. A.Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2014. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2014. 6986857.

6. Shchelkanova, T. A. / The need of regularization for the synthesis of multi loop control systems. Proceedings of IV Russian-Korean scientific and technical seminar, 28-29 January 2015, Tomsk. 63413507.

7. Engl H.W., Hanke M., Neubaer A. Regularization of inverse problems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000. –321 p.

8. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. — М.: Наука, 1979. — 283 с.8.

9. Goncharov V., Antropov A., Rudnitcki V., Udod A.. Use of transient processes on the basis of the real interpolation method. Proceedings of 15-th International Conference on Systems Science. September 7 - 10, 2004. Wroclaw, Poland. Vol. 1, pp. 360–366.

10. Modern Control Systems, 11th ed. by Richard C. Dorf and Robert H. Bishop. Prentice Hall, 2008.

11. С.А. Белов, Н.Ю. Золотых. Численные методы линейное алгебры. Лабораторный практикум. – Нижний Новгород: изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, 2005. – 264 с.